

УДК 621.9.031

Ч.Ф. Якубов, канд. техн. наук, С.Р. Меметов, Симферополь, Украина

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ И СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

*У статті досліджено можливість зміцнення контактних шарів швидкохідного інструменту в умовах мінімізованої витрати СОРТ. Представлені експериментальні результати стійкостних випробувань свердла при обробці нержавіючої сталі. Показано, що стійкість металорізального інструменту істотно залежить від початкових умов його експлуатації.*

*В статье исследована возможность упрочнения контактных слоев быстрорежущего инструмента в условиях минимизированного расхода СОТС. Представлены экспериментальные результаты стойкостных испытаний сверла при обработке нержавеющей стали. Показано, что стойкость металлорежущего инструмента существенно зависит от начальных условий его эксплуатации.*

*The article shows the possibility of contact layers strengthening of metal-cutting tools during the process of cutting in MQL conditions where lubricant. Experimental results stoykostnyh test drill in the processing of stainless steel. It is shown that the resistance of cutting tools depends on the initial conditions of use.*

**Постановка проблемы.** Проблема повышения работоспособности металлообрабатывающего инструмента продолжает оставаться одной из основных задач современной науки о резании, пути решения которой лежат в спектре динамично развивающихся технологий поверхностного упрочнения.

К общеизвестным способам повышения стойкости металлорежущего инструмента относится применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), роль которых в процессах механической обработки достаточно глубоко изучена и широко освещена в литературе. Тем не менее, существующая практика эксплуатации СОТС при увеличении основных и вспомогательных расходов (транспортировка, хранение, утилизация и т.д.) в условиях современных производств значительно снижает рентабельность от их применения. Кроме того, подавляющее большинство базовых минеральных компонентов, входящих в состав повсеместно используемых в металлообрабатывающей промышленности СОТС, влекут за собой ощутимую техногенную нагрузку на окружающую среду и являются причиной роста ряда профессиональных заболеваний. В результате, на сегодняшний день обозначены тенденции перехода к эксплуатации экологически безвредных составов СОТС на основе растительных масел, относительно высокая стоимость которых компенсируется совершенствованием различных технологий их минимизированного расхода [1, 2].

Вместе с тем, за последнее десятилетие уже накоплен и отчасти систематизирован опыт украинских, российских и зарубежных ученых в области уп-

рочнения металлорежущего инструмента путем получения износостойких покрытий [3-5]. При этом совокупность физико-механических, теплофизических и трибологических свойств последних позволяет обеспечить высокоэффективное, экологически безвредное резание при полном отказе от применения СОТС. Однако, до сих пор не ясно, почему после разрушения износостойкого слоя благоприятное влияние покрытия с позиций стойкости режущего инструмента сохраняется.

**Цель статьи.** По аналогии с исследованием функциональных характеристик износостойких покрытий показать эффективность применения экологически безвредных технологических сред с позиций их упрочняющего действия.

**Изложение основного материала.** Известно, что подача в зону резания смазывающей среды ведет к уменьшению общей площади контакта на передней поверхности режущего инструмента, и как следствие – к росту удельных нормальных нагрузок [6]. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в условиях использования СОТС на основе растительных масел (с характерными для них более высокими проникающими, смазывающими, экранирующими и пассивирующими свойствами) данный эффект усиливается. В данном случае структурная приспособляемость рабочих поверхностей инструмента к внешним условиям нагружения наиболее полно протекает в начальном периоде резания. Этот процесс характерен для определенных условий и, по аналогии с приработкой трущихся пар, показывает существенное повышение стойкости на дальнейших (стационарных) режимах эксплуатации металлорежущего инструмента [7]. Период адаптации инструмента к внешним нагрузкам, как стадия перестройки структуры поверхностного слоя инструментального материала, есть неизбежное условие процесса контактного взаимодействия при резании. При этом основным механизмом выступает термодиффузионное упрочнение, сопровождаемое ростом плотности дислокаций в объемах, примыкающих к рабочим поверхностям инструмента.

Так, формирование износостойких контактных структур, предусматривает направленный поиск условий управления процессом изнашивания и, как следствие, стойкостью инструмента. Как уже отмечалось, результаты исследований показали, что применение СОТС вследствие уменьшения длины контакта по передней поверхности инструмента обуславливает значительный (от 30 до 80%) рост нормальных удельных контактных нагрузок, обеспечивая повышение износостойкости вторичных структур по закономерностям их деформационного упрочнения до 4-х раз, обнаруживая при этом корреляцию с изменением плотности дислокаций и субмикротвердостью контактных слоев. Схематическое изображение влияния нормальных и касательных напряжений на упрочнение контактных слоев инструмента представлено на рисунке 1 ( $H_{\mu}$  – исходная микротвердость инструмента,  $\Delta H_{\mu 1}$  – микротвердость в упругой зоне контакта,  $\Delta H_{\mu 2}$  – микротвердость в пластической зоне кон-

такта при резании на воздухе,  $\Delta H_{\mu 3}$  – микротвердость в пластической зоне контакта при резании с СОТС). Данная схема правомочна в диапазоне температур 200°C...400°C, при которых стимулируются процессы упрочнения быстрорежущей стали.

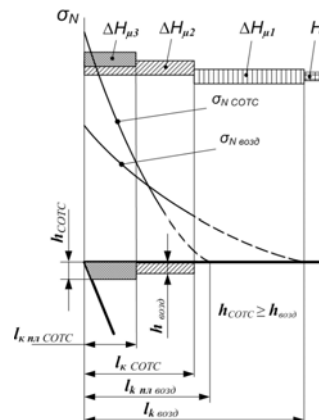


Рисунок 1 – Схема влияния нормальных и касательных напряжений на упрочнение контактных слоев инструмента

Исследование процессов резания инструментами из быстрорежущей стали, как в условиях подачи СОТС, так и при эксплуатации нанесенных износостойких покрытий в режиме «сухой» обработки обнаруживает некую аналогию в механизме их упрочняющего действия.

Данная постановка вопроса вытекает из следующих соображений:

1. Роль покрытий и СОТС в начальной стадии контактных процессов во многом совпадает, а именно: и те, и другие, снижая работу трения, уменьшают длину (площадь) контакта, обуславливая рост нормальных нагружающих напряжений.
2. Контактные слои инструмента могут находиться в диапазоне оптимальных температур упрочнения: в присутствии СОТС при резании в режиме приработки инструмента, при наличии покрытия за счет градиента температуры по ее глубине.

3. Вторичный (износостойкий) слой формируется на участке пластического контакта в начальном периоде работы инструмента за время, когда защитные функции покрытия практически исчерпываются, а СОТС в эту зону не проникает.

Вместе с тем известно, что износостойкие покрытия в диапазоне 10...20-ти минутного резания частично или полностью разрушаются. Эффект же повышения стойкости выражается в значительно большем времени. В объяснении этого факта точки зрения исследователей расходятся. В одних работах [4] сохранение эффекта повышения стойкости и после разрушения покрытия объясняется положительным вкладом формируемой на границе покрытия с основой слоя двойного карбида вольфрама и кобальта  $\text{Co}_2\text{W}_3\text{C}$  ( $\eta$  - фаза). В других утверждается, что  $\eta$  - фаза не играет существенной роли в снижении износа и после удаления покрытия [8], либо даже снижает износостойкость пластины. Имеются так же гипотезы, связанные с предположением о сохранении локальных очагов покрытия или стекания участков покрытия на дно лунки [9, 10].

Выявление детального механизма этого технически важного явления продолжает оставаться актуальной научной проблемой. В общем же случае снижение интенсивности износа после разрушения покрытия, так или иначе, должно быть связано с трансформацией свойств материала инструмента. Роль покрытия в этом плане представляется следующим образом – при наличии покрытия материал инструмента претерпевает деформационное нагружение в условиях повышенных давлений и пониженных температур, вызванных снижением площади контакта, работы трения и наличием градиента температуры по толщине покрытия. Такую картину можно уподобить снижению скорости резания, в пределах соответствующему диапазону в режиме приработки, при которых в присутствии СОТС формируются упрочненные износостойкие структуры.

Правомочность такой аналогии подтверждается результатами экспериментальных исследований обработки нержавеющей стали 12X18H10T цилиндрическими спиральными сверлами марки Р6М5. Исходная стойкость инструмента была установлена путем резания инструментом без покрытия и без предварительной приработки на стационарных режимах «сухого резания» ( $V_c = 27$  м/мин.,  $S_z = 0,05$  мм/зуб). На этих же режимах реализовывалось резание сверлом с износостойким покрытием TiN. Предварительная приработка инструмента без покрытия соответствовала щадящим режимам резания ( $V_c = 12,5$  м/мин.,  $S_z = 0,05$  мм/зуб) в условиях аэрозольного распыления СОТС специальным устройством Steidle L50/L60 (Германия) с последующим переходом в зону «сухого» резания на стационарных режимах обработки.

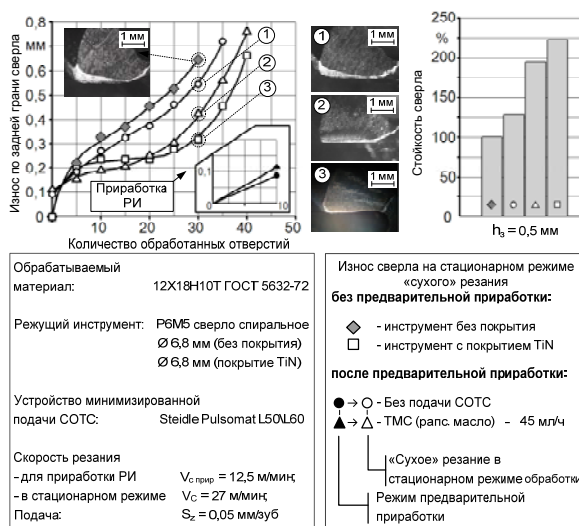


Рисунок 2 – Износ и стойкость спирального сверла Р6М5 при обработке нержавеющей стали 12X18H10T

Анализ полученных данных свидетельствует, что упрочнение резанием в среде рапсового масла методом предварительной приработки обнаружило эффект повышения стойкости и по количеству обработанных отверстий незначительно уступает сверлам с износостойкими покрытиями.

Естественно, полного соответствия свойств вторичных структур сформированных при резании в режиме приработки в присутствии СОТС и за «время жизни» износостойких покрытий, не должно быть. В первом случае формирование вторичных структур протекает в основном за счет деформационного упрочнения (СОТС в пластический контакт не проникает), во втором – сочетанием деформационных и диффузионных процессов, развиваемых элементами покрытия. Покрытие при развитии вторичных структур является активным источником легирующих элементов и стимулятором внутреннего субструктурного массопереноса, интенсивность которого определяется диффузионными процессами.

Внедрение диффундирующего элемента из покрытия в инструментальную матрицу вносит дополнительное искажение в кристаллическое строение, которое, суммируясь с возрастающей плотностью дислокаций, изменяет параметры упрочненного слоя относительно формируемого в бездиффузионных условиях. Тем не менее, принципиальная общность механизмов формирования износостойких вторичных структур в поверхностных слоях инструмента при наличии покрытия и методом приработки в среде СОТС позволяют рассматривать покрытие как высокоэффективное (возможно идеальное) смазывающее средство.

#### Выводы.

Оценка смазочного действия СОТС как фактора, обуславливающего упрочнение контактных слоев инструмента в режиме приработки, открывает принципиально новые пути их эффективного использования: с одной стороны, с учетом применения техники минимальной смазки расширяет область внедрения в промышленность масел растительной природы, с другой – создает основу для синтеза приработочных масел для резания.

Имеется принципиальная общность в механизме формирования упрочненных износостойких структур в поверхностных слоях инструмента, как при наличии износостойкого покрытия, так и в условиях приработки инструмента в среде СОТС.

**Список использованных источников:** 1. *Weinert K.* Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung / Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik / Hrsg.: Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio: Springer-Verlag, 1998. 2. *Верещака А.С.* Анализ основных аспектов проблемы экологически безопасного резания / Верещака А. С., Лиерат Ф. и др. // Сб. резание и инструмент в технологических системах. Вып. 57. – Харьков, ХГПУ, 2000, С. 29 – 34. 3. *Костюк Г.И.* Методика выбора покрытий и режущих пластин с покрытиями на основе опыта Украины и международных фирм. Современные технологии в машиностроении: Сб. науч. статей / Под ред. А.И. Грабченко. - Том 1. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - С. 371-401. 4. *Верещака А.С.* Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / Верещака А.С. – М.: Машиностроение, 1993. 336 с. 5. *Chubb I.P., Billenhen I.* Coated cutting tools a study of wear mechanisms in high speed machining / Chubb I.P., Billenhen I. – 2 «Wear», 2009. 6. *Энтеллис С.Г.* Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С.Г. Энтеллиса, Э.М. Берлинера. – М.: Машиностроение, 1986. - 352 с., ил. 7. *Якубов Ч.Ф.* Упрочняющее действие СОТС при обработке металлов резанием. – Монография. Симферополь: ОАО «Симферопольская городская типография», 2008. – 156 с. 8. *Гуревич Д.М.* Изнашивание при точении твердосплавных пластин с износостойкими покрытиями / Гуревич Д.М. – Вестник машиностроения, 1989. - № 6. - С. 45 – 47. 9. *Schulz H.* Bedarfsgerechte Auswahl von PVD-Schichten zur Leistungssteigerung von HSS- und Hartmetallwerkzeugen / Spanende Fertigung, Herausgeber K. Weinert, Vulkan-Verlag, Essen 1994. С. 293-299. 10. *Peterson D., Sander H.* PVD-Verschleißschutzschichten. Morphologie, Struktur und tribologische Verhalten / Teil 1 Metalloberfläche 50 (1996) Nr.12. - С. 292-297.

Поступила в редакцию 15.06.2012